

# Linealización de amplificadores por prealimentación para UMTS

David Presmanes Somarriba  
Departamento de Ingeniería de  
Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail :  
david.presmanes@unican.es

Amparo Herrera Guardado  
Departamento de Ingeniería de  
Comunicaciones  
Universidad de Cantabria  
e-mail :  
amparo@dicom.unican.es

**Abstract-** This paper presents the most important concepts in a UMTS feedforward linearization system. The developed system meets the down link UMTS specifications, achieving a ACLR<sub>c</sub> < -45 dBc, a ACLR<sub>L</sub> < -57 dBc, a EVM of 48% and a PCDE of -44 dB. The output power is +27.7 dBm for this application. An efficiency of nearly the 4.5 % has been obtained, being the total consumption of 13.3 W. The most problematic elements, as the error loop amplifier which must have a 1dB compression point 10 dB over the level of the generated signal, have been analyzed. This specification is due to the special characteristics of the UMTS signals as its variable envelope. Moreover, it can be seen that an imperfect cancellation is advisable to improve both output power and ACLR.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones móviles han experimentado un gran incremento de demanda en los últimos años. Este aumento del número de clientes, así como la necesidad de proveer una serie de servicios nuevos, ha provocado que la segunda generación de móviles (con GSM a la cabeza) se haya quedado obsoleta. La tercera generación (UMTS) nace con la idea de solucionar parte de las limitaciones con que se encuentra GSM. UMTS, es una evolución con el fin de integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes anteriores. Además, pretende dar este servicio mediante cualquier tipo de terminal, ya sea fijo o inalámbrico, permitiendo una mayor calidad de los servicios y una utilización de ellos en tiempo real. La velocidad de transferencia de datos está establecida desde los 144 Kbit/s en vehículos móviles hasta los 2 Mbit/s en entornos fijos (en el caso de un teléfono móvil tenemos 384 Kbit/s). Como se ve, aumentamos claramente la velocidad con respecto a GPRS que es del orden de 10 veces menor. Con esto se puede ofrecer una conexión de banda ancha (similar al ADSL de los hogares en la actualidad).

El uso de la tercera generación de móviles está en auge, por lo que constantemente se están produciendo innovaciones técnicas en este campo. Uno de los grandes problemas que presenta es que los amplificadores de potencia deben usarse con grandes back-off, perdiendo una

parte importante de potencia, si queremos cumplir los requisitos establecidos. En el presente documento vamos a desarrollar un sistema de linealización para UMTS. Mediante la implementación de un sistema de estas características conseguimos reducir el nivel de los productos de intermodulación que generan los amplificadores. Gracias a esto, podemos trabajar mucho más cerca del punto de compresión del amplificador, aumentando el rendimiento global de nuestro sistema.

En este artículo vamos a tratar los puntos más importantes de este tipo de sistemas. Empezaremos explicando los conceptos básicos de un sistema de linealización por prealimentación. Luego haremos una pequeña introducción teórica que va unida a las simulaciones efectuadas mediante ADS (Advanced Design System). Acabaremos mostrando los resultados prácticos más relevantes (buscando una potencia de salida de +27 dBm), resumiendo aquellos puntos del sistema que son críticos en nuestro diseño.

## II. LINEALIZACIÓN POR PREALIMENTACIÓN

La principal ventaja de este método frente al resto se encuentra en los anchos de banda que soporta. En aplicaciones con varias portadoras, en las que tenemos anchos de banda que rondan los 100 Mhz, la prealimentación funcionará correctamente, mientras que otras técnicas como la realimentación y las que usan DSP no podrán ser usadas por las limitaciones propias de los diseños [1].

En general hemos visto que tanto el ancho de banda, la eficiencia y la cancelación de interferencias vienen unidos. En nuestro sistema el ancho de banda será elevado, pudiendo alcanzar unos niveles de linealización entre los 20 dB y 40 dB. Es fácil ver que la mayor limitación de esta técnica será la eficiencia, que suele situarse por debajo del 10%.

En la figura 1 vemos el esquema básico de un sistema de prealimentación. El principio de funcionamiento se basa en la cancelación en la salida de la distorsión introducida por el amplificador de potencia (AP). Para ello necesitamos dos lazos, el primero en el que extraemos una señal de error, quedándonos con la distorsión producida, y el segundo con el que restamos dicha distorsión a la salida del sistema.

La señal se divide en dos ramas en la entrada, la primera va al AP y la segunda a un bloque de ajuste. La señal no lineal que sale del AP se divide de la misma forma en otras

dos. Con la rama inferior cerramos el primer lazo en un combinador. Para ello atenúamos la señal convenientemente, para que tenga un nivel similar al de la entrada.

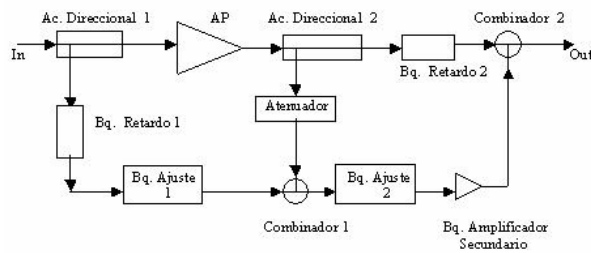


Fig. 1. Esquema de linealización por prealimentación.

Por otro lado, con el bloque de ajuste buscamos la fase y magnitud correctas para cancelar la señal principal del AP, quedándonos en la salida una señal de error, en la que tenemos la distorsión introducida por las no linealidades. Esta señal de error será la que restamos mediante el combinador de la salida, a la señal que venía del AP. La señal de error tendrá que ser ajustada en fase y magnitud para restarla a la señal principal, para ello necesitamos un bloque de ajuste y una cierta ganancia que viene dada por un bloque amplificador. Junto con estos componentes, son necesarios también dos líneas de retardo, ya que si las frecuencias de trabajo son elevadas, hay que compensar el retardo que introducen en el primer lazo el AP y en el segundo el bloque amplificador [2].

Una ventaja sustancial que tiene la prealimentación frente a otras técnicas es que, en su forma básica, es incondicionalmente estable. Además apenas reduce la ganancia del AP (si fuera ideal la reducción sería nula) [3].

El resultado final de este método de linealización depende de tres factores claves:

1-La precisión que alcancemos en el ajuste de fase y magnitud entre la señal principal y la de error[1].

2-Los retardos introducidos deben ser bien compensados por las líneas situadas para tal efecto. De no ser así, y pese a tener un ajuste en fase y magnitud perfecto, la cancelación no será posible [4].

3- El último punto crítico lo encontramos en el bloque amplificador secundario. Esta parte está formada por amplificadores (uno o varios), siendo los encargados de aumentar la señal de error hasta los niveles deseados. El mayor problema lo encontramos en la potencia de salida que deben suministrar. Esto se ve agudizado por los picos que presentan las señales de envolvente no constante como UMTS (sobre 11 dB [5], pudiendo llegar a tener variaciones superiores en 20 dB a la potencia media [6]), introduciendo distorsión adicional al acercarse al punto de saturación. En general, salvo que tengamos un amplificador muy lineal que nos de la potencia requerida, tendremos que trabajar con un back-off elevado (15dB como mínimo).

La inclusión del procesamiento de señal nos va a permitir aplicar nuevas técnicas, y en especial las relacionadas con la disminución de los picos de la señal [8]. Una reducción de estas crestas de potencia nos reportará grandes beneficios, puesto que la distorsión introducida será considerablemente menor. La reducción del nivel de pico de la señal se puede

llevar a cabo mediante el uso de un predistorsionador y un limitador de potencia de pico, siendo un claro ejemplo de la implementación de la técnica de predistorsión conjuntamente con la de prealimentación [8]

Hasta ahora siempre se había tratado de ajustar lo mejor posible los parámetros del lazo para conseguir una cancelación casi perfecta. Nuevos estudios nos indican que se obtienen mejoras en el comportamiento del sistema, consiguiendo una mayor linealización en la salida, si la cancelación en el primer lazo no se hace de manera perfecta. Mediante la implementación de este método, con cancelación imperfecta de la señal de error, se consigue que el amplificador de error no introduzca tanta distorsión (en especial por los picos de la señal). Las mejoras que nos presentan en [9], demuestran que la cancelación total en el primer lazo no es óptima para el rendimiento global del sistema (la eficiencia se incrementa un 1.5 % y el ACLR mejora en 7 dB).

### III. ESTUDIO TEÓRICO Y SIMULACIONES

Para el ajuste teórico de un sistema de linealización existen multitud de análisis en los que se intenta buscar unas ecuaciones óptimas de diseño. En algunos se busca encontrar una solución al problema de la eficiencia [5], ya que es el punto más débil de esta técnica. En otros se buscan métodos matemáticos óptimos para la implementación [10] y [11]. Hay que destacar que como punto de partida es conveniente el uso de estos modelos, aunque existen herramientas de simulación que pueden llegar a reflejar fielmente la realidad. A pesar de todo esto, los ajustes finales será necesario realizarlos sobre el circuito físico.

Como paso inicial, un análisis con dos tonos, separados un cierto ancho de banda es aconsejable, pero si queremos obtener unos resultados fiables, deberemos trabajar directamente con señales UMTS, ya que el comportamiento difiere bastante como consecuencia de ser señales de envolvente variable. Por este motivo, empezaremos estudiando nuestro circuito introduciendo dos tonos, ya que es más fácil de ajustar todos los parámetros del sistema, para posteriormente realizar los ajustes finales con señales UMTS.

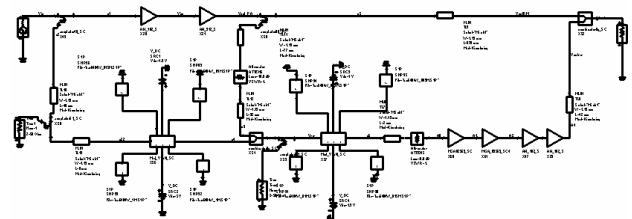


Fig. 2. Esquemático del circuito de simulación.

Por lo tanto, vamos a realizar dos tipos de simulaciones. Una primera donde emplearemos un análisis de balance armónico, trabajando con tonos. Y otra, mucho más compleja (análisis de envolvente) que combina el análisis en tiempo y en frecuencia.

En cuanto a las figuras de mérito que vamos a emplear, con el fin de cuantificar el grado de linealidad obtenido, nos

vamos a centrar en aquellas que la normativa exige en un sistema UMTS en el enlace descendente (3GPP TS 25.104). En el apartado cuarto compararemos los resultados obtenidos de las medidas reales con los valores de simulación.

#### IV. RESULTADOS DE MEDIDAS

Al igual que se hizo en simulación, ahora en el laboratorio se realizaron dos tipos de medidas.

##### A- Análisis con dos tonos

En primer lugar introducimos dos tonos de entrada, con los que resulta más sencillo ajustar en fase y magnitud todo el sistema.

Para este caso buscaremos tanto que la potencia de los tonos principales en la salida sea máxima, como que la relación portadora a interferencia sea lo más elevada posible.

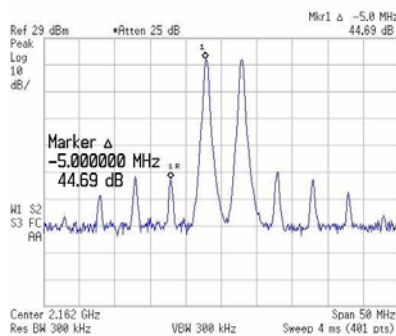


Fig. 3. Medidas con dos tonos.

En este estudio hemos empleado un AP con un punto de compresión 1 dB de +30 dBm, con el fin de entregar en la salida +27 dBm cumpliendo con los parámetros que se exige a una señal UMTS. Estos 3 dB de diferencia se debe a que en la salida del sistema tenemos un combinador de 3 dB para cancelar la señal no deseada.

En la tabla 1 podemos observar los resultados alcanzados al linealizar dos tonos, tanto en la potencia de salida en el punto de compresión 1 dB como en la relación portadora a interferencia:

	P1dB	C/I
Amplificador de Potencia	+30 dBm	20 dB
Medida Sistema Lin.	+28.1 dBm	44 dB
Simulación Sistema Lin.	+28.1 dBm	42 dB

Tabla 1. Punto de compresión y relación C/I

Podemos observar que las medidas reales se asemejan mucho a las simulaciones realizadas mediante ADS. Como consecuencia de ello, estamos capacitados para simular variantes de este sistema, sabiendo que la diferencia entre simulación y realidad va a ser mínima.

Al ajustar el sistema con tonos, es fácil aumentar la potencia de salida a costa de la relación portadora a interferencia (y al revés). Esto nos hace tener que llegar a un compromiso entre ambos elementos. Entonces no sabemos con certeza si nuestro sistema es capaz de conseguir una C/I elevada perdiendo más potencia de la esperada, o es que pierde poco y consigue una pobre cancelación de productos de intermodulación.

Un estudio con tonos de un sistema de linealización, es válido cuando vamos a trabajar con señales de envolvente constante [6 y 7]. En el caso de las señales de UMTS (de envolvente variable), las variaciones de la potencia sobre la media hacen que, un estudio de este tipo no refleje fielmente la situación real de trabajo. Por ello, un análisis con dos tonos se puede tomar como una primera aproximación, necesitando otras herramientas con las que diseñar nuestro sistema de linealización. En particular, aunque sea más compleja la forma de operar, trabajaremos con señales UMTS reales, obteniendo así resultados que se asemejan más a la realidad.

##### B- Análisis con señal UMTS

Si ahora introducimos una señal UMTS vamos a analizar el ACLR (Relación entre la potencia media transmitida y la del canal adyacente) y la calidad de la modulación (con el EVM, Magnitud del Vector Error y el PCDE, Error de Pico en el Dominio del Código).

Una limitación evidente es la que introducen los amplificadores en el lazo de error. Vamos a ver la influencia que tiene el amplificador del lazo de error en la salida del sistema. En general necesitamos una ganancia significativa (cercana a los 60 dB), debiendo generar, además, el nivel de potencia necesario. En este punto vamos a analizar el uso de un amplificador que tuviese un  $P_{1dB}$  5 dB por encima de la potencia requerida. En general, si en la salida queremos dar +27 dBm (+30 dBm antes del combinador), el nivel de la señal no deseada será de unos +20 dBm, 10 dB por debajo de la principal. Si usamos un amplificador en el lazo de error con un  $P_{1dB}$  de +25 dBm, vemos en la tabla 2 los resultados obtenidos al aplicar la linealización. La máxima potencia que podemos emplear en un sistema UMTS pasa de los +19.2 dBm del AP a los +22.8 dBm del circuito linealizado.

	Potencia	ACLR <sub>C</sub>
P1dB del AP	+27.6 dBm	-25 dBc
Máx. Potencia UMTS del AP	+19.2 dBm	-45 dBc
Medida Sistema Lin.	+22.8 dBm	-45 dBc

Tabla 2. Potencia y ACLR con señales UMTS

Los +27.6 dBm que generan los AP es un valor inferior a lo medido con anterioridad (+30 dBm), algo que es consecuencia directa del uso de señales UMTS, que presenta una envolvente variable.

Vemos que la máxima potencia cumpliendo los requisitos UMTS es de +22.8 dBm, 4.2 dB inferior a la esperada (+30 dBm de los AP menos 3 dB del combinador de salida). En principio los AP sólo generan +27.6 dBm, perdiendo otros 2 dB como consecuencia de las limitaciones

que los amplificadores del lazo de error introducen en el sistema a la hora de conseguir una cancelación eficaz.

El uso de un amplificador con un punto de compresión tan cerca del nivel de señal deseado nos penaliza en la cancelación de la salida. Por este motivo, es conveniente usar un amplificador igual al destinado para dar la potencia, es decir, con un  $P_{1dB}$  de +30 dBm. En general, necesitaremos un AP con un  $P_{1dB}$  de unos 10 dB por encima de la potencia a proporcionar. Si aumentamos esta proporción, claramente vamos a trabajar en su zona lineal, pero el consumo y el coste suplementario nos perjudica en el rendimiento final del sistema. En la tabla 3 podemos ver la mejora lograda en el rendimiento global al aumentar el  $P_{1dB}$  del amplificador del lazo de error.

	Potencia	Consumo	Rendimiento
$P_{umts}$ del AP	+19.2 dBm	6.2w	1.34 %
AP con $P_{1dB}$ de +30dBm	+27.7dBm	13.3w	4.46 %
AP con $P_{1dB}$ de +25dBm	+22.8 dBm	10.8w	1.76 %

Tabla 3. Mejora del Rendimiento con el  $P_{1dB}$  del AP del lazo de error

Al usar un amplificador con un  $P_{1dB}$  mayor, estamos bajando los espurios de la señal que combinamos con la principal. Con esto conseguimos que la pérdida de potencia al cancelar los productos de intermodulación en la salida sea menor. Además al conseguir una cancelación elevada, tenemos un ACLR más bajo de lo que nos exigen las especificaciones. Gracias a ello, y usando una cancelación imperfecta, podemos aumentar la potencia de salida a costa de perder unos pocos dBs en la calidad del ACLR (aumentará). Como ya vimos cuando usábamos dos tonos, con una disminución de la medida portadora a interferencia, podemos aumentar ligeramente la potencia de salida.

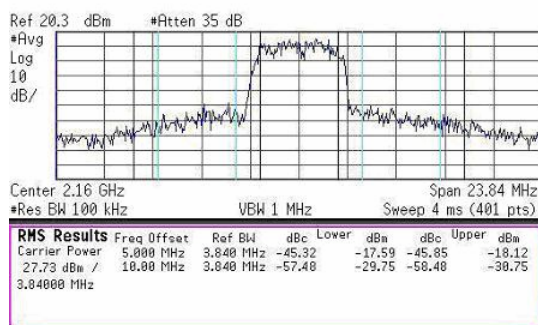


Fig. 4. Medidas UMTS del ACLR.

Mediante una cancelación “perfecta” deberíamos conseguir +27 dBm, pero al tener mayor  $P_{1dB}$  en el lazo inferior, gracias al margen lineal de que disponemos, se puede incluso aumentar las expectativas si usamos una cancelación imperfecta.

Las simulaciones realizadas, al igual que en el caso de emplear dos tonos, son muy parecidas a los resultados prácticos, tanto en la potencia como en el ACLR.

Desde el punto de vista de la calidad de la modulación analizamos dos parámetros, el EVM y el PCDE. Al aplicar la linealización mejoramos los valores iniciales del AP,

estando lejos de los límites de ambos parámetros (17% para el EVM y -33 dB para el PCDE).

	EVM	PCDE
AP	7.1 %	-48 dB
Linealizando	4.8 %	-44 dB

Tabla 4. Medidas de la calidad de la modulación (EVM y PCDE)

## V. CONCLUSIONES

Se han introducido los elementos más importantes de un sistema de linealización por prealimentación. Se ha diseñado, simulado y medido un circuito en el que se aplica esta técnica para conseguir aumentar la eficiencia global de un sistema capaz de trabajar con señales UMTS.

Los resultados de las medidas son satisfactorios, ya que podemos generar una señal de +27.7 dBm cumpliendo con la normativa asociada a las señales UMTS. El rendimiento en potencia conseguido se acerca al 4.5%.

También se han abordado los puntos críticos en el diseño del sistema, debiendo prestar especial atención al amplificador del lazo de error. Esto es consecuencia directa del elevado valor (hasta 20 dB) de los picos sobre la potencia media que presentan las señales UMTS.

Estos resultados nos hacen aconsejable la implementación de un sistema de linealización para reducir el back-off que actualmente se necesita en los AP de los sistemas que trabajan con señales UMTS.

Las simulaciones reflejan fielmente las medidas posteriores, por lo que se puede decir que estamos en condiciones de implementar nuevas evoluciones de nuestro sistema, en especial la de conseguir generar una mayor potencia de salida.

## REFERENCIAS

- [1] F. Raab , P. Asbeck , S. Cripps , P. Kenington , Z. Popovich , N. Potheary , J. Sevic, N. Sokal , “RF and Microwave Power Amplifier and Transmitter Technologies- Part 4”, High Frequency Electronics, pp. 38-49, Noviembre 2003.
- [2] N. Potheary, Feedforward Linear Power Amplifiers, Norwood, MA: Artech, 1999.
- [3] P. Kenington, “Methods Linearize RF Transmitters and Power Amps (Part 2)”, Microwaves & RF, vol. 38, no. 1, Enero 1999.
- [4] M. Roy, “Distortion Cancellation Performance of Miniature Delay Filters for Feedforward Linear Power Amplifiers”, IEEE Transactions on Ultrasonics and Frequency Control, vol. 49, no. 11, Noviembo 2002.
- [5] H. Pretl, L. Maurer, W. Schelmbauer, R. Weigel, B. Adler y J. Fenk, “Linearity Considerations of W-CDMA for UMTS”, IEEE Transactions on Ultrasonics and Frequency Control, no. 10, 2000.
- [6] C. Larose y F. Ghannouchi, “Optimization of Feedforward Amplifier Power Efficiency on the Basis of Drive Statistics”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 51, no. 1, Enero 2003.
- [7] J. Tellado, Multicarrier Modulation with Low PAR, Boston: Kluwer, 2000.
- [8] Y. Yang, Y. Woo, J. Cha, J. Yi y B. Kim, “New Linearization Method for the Modulated Signals with High Peak-to-Average Ratio”, IEEE MTT-S Digest, pp. 777-780, Junio 2002.
- [9] B. Kim, Y. Woo, Y. Yang, J. Yi, J. Nam, J. Cha, “A New Adaptive Feedforward Amplifier Using Imperfect Signal Cancellation”, Microwave Journal, Abril 2003.
- [10] Y. Yang, Y. Woo y B. Kim, “Optimization for Error-Cancelling Loop of the Feedforward Amplifier Using a New Mathematical Model”, IEEE Transactions on MTT, vol. 51, no. 2, Febrero 2003.
- [11] H. Coskun y S. Demir, “A Mathematical Characterization and Analysis of a Feedforward Circuit for CDMA Applications”, IEEE Transactions on Microwave Theory , vol. 51, no. 3, Marzo 2003.